

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Návrh odpojovače vvn
Design of high voltage disconnect

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 7.5.2010

Podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Zdenku Hytkovi, CSc. za vedení diplomové práce a také za jeho podporu, trpělivost a rady při vypracování této diplomové práce.

Abstrakt

Obsahem této diplomové práce je návrh odpojovače velmi vysokého napětí. Součástí návrhu jsou návrhy: elektrický, kde navrhuji izolační vzdálenosti, provedení proudovodné dráhy, její rozměry a navrhuji parametry kontaktního tělesa, mechanický, ve kterém volím provedení odpojovače, rozměry nosníků, provádím základní pevnostní výpočty, počítám působení sil mezi vodiči a provádím kinematickou analýzu. Součástí tepelného návrhu je tvorba tepelné sítě a výpočet ustáleného oteplení proudovodné dráhy.

Klíčová slova

Odpojovač, vvn, kinematika, oteplení, síla

Abstract

The content of this thesis is to design high-voltage disconnecter. The proposal must include proposals for: an electric, in which I suggest isolation distances, the implementation of current carrying system, its dimensions and parameters suggest for the contact body, mechanical, where I choose the concept of disconnecter, beam dimensions, perform basic stress analysis, calculate the forces between the conductors and doing a kinematic analysis. Last part of the proposal is the creation of thermal heating network and the calculation of the steady warming of the current carrying path.

Key words

Disconnecter, high voltage, kinematics, warming, force

Seznam použitých symbolů a zkratek

E_Z	[-]	emisivita
$F_{1,2,3}$	[N]	celková síla působící na rameno
F_l	[N]	síla mezi rameny – viz další indexy
F_p	[N]	přítlačná síla
$G_{1,2,3,I,T}$	[N]	tíhová síla působící na rameno
I_k	[A]	zkratový proud
I_{kr}	[A]	zkratový proud procházející jedním ramenem
I_n	[A]	jmenovitý proud
I_{nr}	[A]	jmenovitý proud procházející jedním ramenem
M_{omax}	[Nm]	maximální ohybový moment
N_k	[-]	počet kontaktních míst
Q_S	[W]	styková energie
R_{Tl}	[K/W]	tepelný odpor podélný
R_{Ts}	[K/W]	tepelný odpor stykový
R_{Tt}	[K/W]	tepelný odpor příčný
R_{ssv}	[Ω]	stykový odpor pro napětí svaření
R_{sm}	[Ω]	stykový odpor pro napětí svaření
S_p	[mm ²]	průřez proudovodné dráhy
U_p	[V]	Polovinné průrazné napětí
a	[mm]	průměr vodiče ve výpočtu dynamických účinků proudu
$a_{1...8}$	[ms ⁻²]	zrychlení v bodě
d	[mm]	izolační vzdálenost
g	[ms ⁻²]	tíhové zrychlení
h	[mm]	délka ramene ve výpočtu dynamických účinků proudu
k	[-]	koeficient prostředí

l	[mm]	délka ramene ve výpočtu dynamických účinků proudu
$l_{1,2,3}$	[mm]	délka ramene 1,2,3
l_T	[mm]	délka táhla
m	[kg/m]	hmotnost ramene na metr délky
m_1	[kg/m]	hmotnost U-profilu na metr délky
m_2	[kg/m]	hmotnost trubky na metr délky
m_3	[kg/m]	hmotnost měděného lana na metr délky
m_c	[kg]	celková hmotnost ramen
$v_{1...8}$	$[ms^{-1}]$	rychlost v bodě
v_{1v}	[mm]	výška ramene 1 ve vypnutém stavu
v_{2v}	[mm]	výška ramene 2 ve vypnutém stavu
v_{3v}	[mm]	výška ramene 3 ve vypnutém stavu
v_{1z}	[mm]	výška ramene 1 v zapnutém stavu
v_{2z}	[mm]	výška ramene 2 v zapnutém stavu
v_{3z}	[mm]	výška ramene 3 v zapnutém stavu
v_{iz}	[mm]	minimální izolační vzdálenost odpojovače
v_{ov}	[mm]	celková výška ramen ve vypnutém stavu
v_{oz}	[mm]	celková výška ramen v zapnutém stavu
w_o	[MPa]	modul pružnosti v ohybu
α_0	$[Wm^{-2}K^{-1}]$	součinitel přestupu tepla
$\vartheta_{2...7}$	$[^{\circ}C]$	oteplení prvku proudovodné dráhy
σ_{od}	[MPa]	dovolená pevnost v ohybu
ϑ_{∞}	[K]	ustálené oteplení, výpočtová hodnota
σ_P	[A/mm]	proudová hustota v proudovodné dráze
λ	$[Wm^{-1}K^{-1}]$	tepelná vodivost

Obsah

Úvod	8
Základní rozměry odpojovače	9
Izolační vzdálenosti	9
Mezikontaktní prostor	9
Volba provedení odpojovače	9
Délka ramen odpojovače	10
Návrh proudovodné dráhy	12
Návrh kontaktů	12
Dynamické účinky proudu	13
Průběžný záhyb	13
Rovnoběžné vodiče	20
Vodiče v úhlu	22
Celková síla působící na ramena	25
Váha a tíhová síla ramen	26
Návrh ocelové konstrukce odpojovače	27
Výpočet oteplení	28
Rozdělení dílců	28
Použité vzorce	29
Určení E_z a α_0	30
Tabulky naměřených a vypočtených hodnot	30
Oteplení prvků	31
Kinematika odpojovače	32
Kinematické schéma	33
Grafy	34
Závěr	36
Literatura	37
Seznam příloh	38

Úvod

Funkce přístroje v síti má vliv na jeho konstrukci, montáž i obsluhu a z tohoto hlediska lze přístroje rozdělit do tří základních skupin. Jsou to přístroje spínací (elektrické spínače), ochranné a jisticí a měřicí. [6]

Elektrické spínače vvn rozdělujeme zejména podle spínací schopnosti do tří kategorií. Jsou to jednak spínače s plnou spínací schopností (vypínače), dále spínače s omezenou spínací schopností (vypínače zátěže, odpínače) a spínače, které nemají žádnou spínací schopnost (odpojovače). Velmi blízká spínačům jsou ještě další zařízení, jako jsou bleskojistky, staniční podpěrky a elektrické průchodky. [1]

Do skupiny spínačů, které nemají vypínací schopnost, patří uzemňovač, sloužící k ochraně odpojených úseků elektrického rozvodu. Dalším z těchto spínačů je odpojovač, konstrukční jednoduché zařízení, jehož účelem je bezpečná izolace neprovozovaných úseků elektrického zařízení od napětí. Tyto zařízení také nazýváme přístroje bez oblouku. [1]

Odpojovače, uzemňovače a zkratovače se stavějí jako jednopólové až trojpólové jednotky, které mají jednoduchou konstrukci, mechanicky a elektricky pevnou. Tyto přístroje v zapnutém stavu musejí snést tepelné a dynamické namáhání největším dovoleným zkratovým proudem a po jeho průchodu musejí být schopny dalšího provozu. Tento požadavek vede k bohatému dimenzování proudových částí a zejména kontaktů. Kontakty bývají obvykle provedeny jako třecí nožové nebo lamelové a pohyblivý kontakt koná buď posuvný, nebo sklápěcí, nebo otáčivý pohyb. Zvláštním případem používaným pro venkovní odpojovače je provedení s dvojitým pohybem nože. Pohyblivé kontakty mají obvykle tvar plochých nožů (vnitřní provedení) nebo jsou zhotoveny z měděných trubek na konci zploštělých (venkovní provedení). Uzemňovací nože bývají zpravidla ocelové. Proudovodné části jsou upevněny na podpěrkách, které jsou pro vnitřní provedení buď porcelánové, nebo z licí epoxidové pryskyřice a pro venkovní provedení jsou porcelánové. Podpěrky jsou montovány na kovovém rámu, na kterém je umístěn i mechanismus, který zajišťuje buď současný pohyb všech pohyblivých kontaktů, nebo ovládá každý pól zvlášť. Pohony mohou být buď ruční nebo strojní (tlakovzdušné, motorové nebo jiné). Provedení ovládacího mechanismu ve spojení se strojním pohonem musí být takové, aby pracovní polohy kontaktů byly zajištěny (blokováním západkou atd.) a nemohly vnějším účinkem měnit svou polohu. [6]

Provedení odpojovačů je mnoho a jednotlivá pojmenování jsou odvozena od druhu pohyblivého kontaktu nebo od jeho pohybu. Nožový odpojovač má pohyblivý kontakt ve tvaru nože. U posuvného odpojovače koná pohyblivý kontakt suvný pohyb v rovině pólu, u otáčivého odpojovače je pohyblivý kontakt uložen na otočném izolátoru, který se při spínání otáčí kolem své osy. U sklápěcího odpojovače se pohyblivý kontakt sklápí v rovině pólu a u odpojovače s dvojitým pohybem nože pohyblivý kontakt nejprve koná otáčivý pohyb kolem své osy a potom se sklápí v rovině pólu. Tato úprava se používá pro venkovní provedení a dvojitý pohyb nože slouží k rozdělení námrazy a očištění stykových ploch kontaktů. [6]

Zvláštním provedením odpojovače je přepojovač, kterým lze přepojovat nejméně dva různé nezátížené obvody. Existují i přepojovače s několika polohami, např. zapnuto – vypnuto – uzemněno. [6]

Základní rozměry odpojovače

Izolační vzdálenosti

Izolační vzdálenost mezi fázemi je dána vzdáleností přípojníc, tuto není nutno počítat.

Izolační vzdálenost proti zemi je dána použitým izolátorem, požadované napětí rázové zkoušky je 1550 kV, napětí střídavé zkoušky 650 kV.

Zvolený podstavný izolátor C10-1550 (10500) firmy Argillon má napětí rázové zkoušky 1550 kV a napětí střídavé zkoušky 1050 kV. Vyhovuje tedy požadavkům.

Mezikontaktní prostor

Napětí rázové zkoušky pro vypínací dráhu je 1680 kV

Rázová zkouška – hrot, uzemněný hrot

$$U_p = 70 + 5,56d \Rightarrow d = \frac{U_p - 75}{5,56} = \frac{1680 - 75}{5,56} = 288,67 \text{ cm} \quad (1)$$

Rázová zkouška – hrot, uzemněná plocha

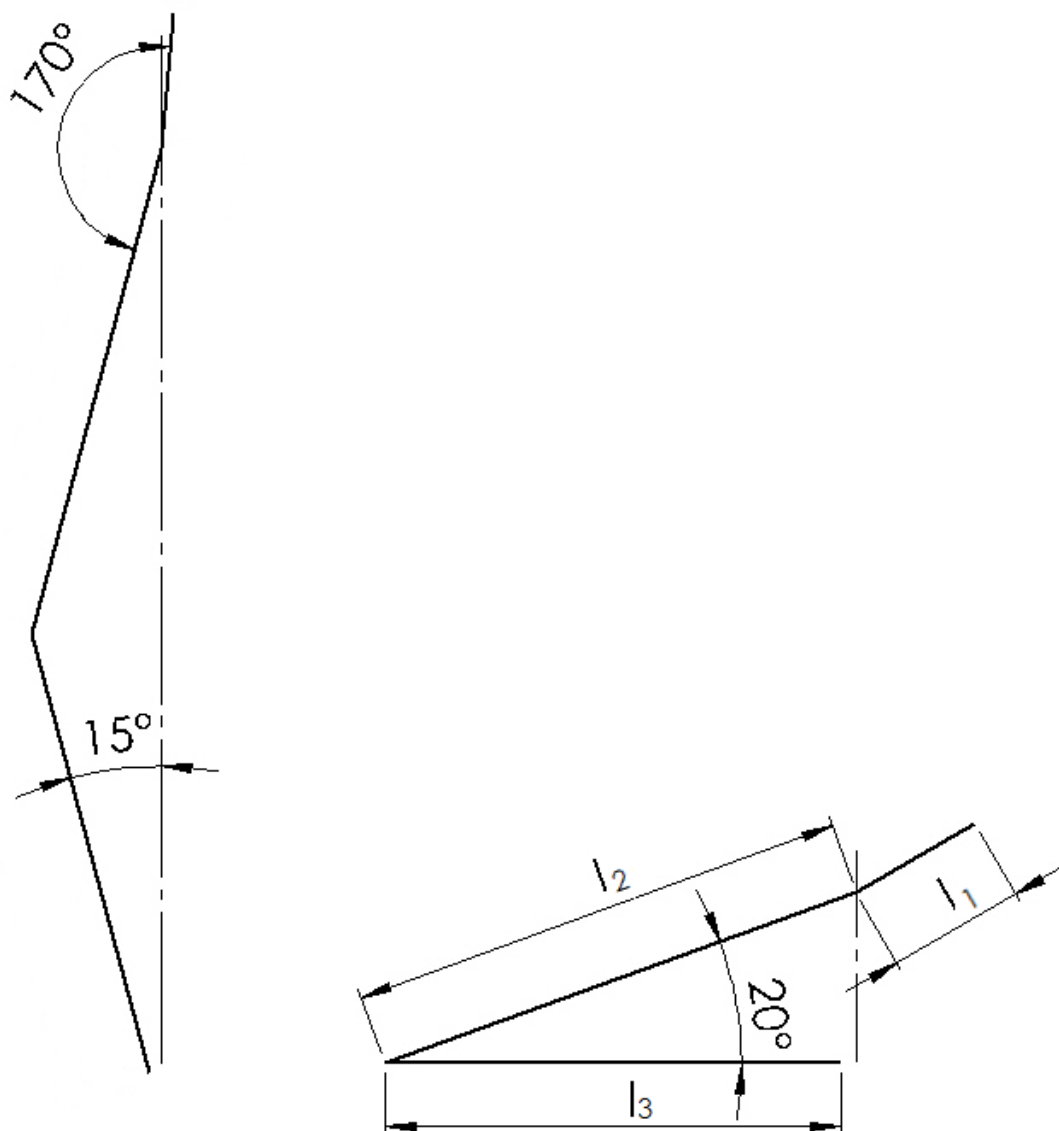
$$U_p = 40 + 5d \Rightarrow d = \frac{U_p - 40}{5} = \frac{1680 - 40}{5} = 328 \text{ cm} \quad (2)$$

Minimální šířku mezikontaktního prostoru volím 350 cm. Tato šířka se může změnit vzhledem ke zvolené konstrukci odpojovače.

Volba provedení odpojovače

Provedení odpojovače volím pantograf s ocelovou konstrukcí, proudovodnou dráhu ve formě měděného lana.

Délka ramen odpojovače



Obr. 1. Náčrtek ramene v zapnuté a vypnuté poloze

Délku ramene 3 volím 2000 mm, ve vypnutém stavu budou ramena 2 a 3 svírat úhel $\alpha' = 20^\circ$.

Ramena 1-2 a 1'-2' budou spojena kloubovým spojem v místě ohybu ramene.

Délka ramene 2

$$\cos(20) = \frac{2050}{l_2} \Rightarrow l_2 = \frac{2050}{\cos(20)} = 2181,56 \cong 2200 \text{ mm} \quad (3)$$

Skutečný úhel α

$$\cos \alpha = \frac{2050}{l_2} = \frac{2050}{2200} = \frac{41}{44} \Rightarrow \alpha = \cos^{-1}\left(\frac{41}{44}\right) = 21,28^\circ \quad (4)$$

Výška ramene 2 ve vypnutém stavu

$$\sin(21,28) = \frac{v_{2v}}{l_2} \Rightarrow v_{2v} = \sin(21,28) * l_2 = \sin(21,28) * 2200 = 798,44 \text{ mm} \quad (5)$$

Úhel β (úhel ohybu ramene 1) volím 170°

Předběžnou délku ramene 1 volím 600 mm

Předběžná výška ramene 1 ve vypnutém stavu

$$\sin(31,28) = \frac{v'_{1v}}{l'_1} \Rightarrow v'_{1v} = \sin(31,28) * l'_1 = \sin(31,28) * 600 = 311,53 \text{ mm} \quad (6)$$

Celková předběžná výška odpojovače ve vypnutém stavu

$$v'_{ov} = v_{2v} + v'_{1v} = 798,44 + 311,53 = 1109,97 \text{ mm} \quad (7)$$

Minimální výška odpojovače v zapnutém stavu

$$v'_{oz} = v'_{ov} + v_{iz} = 1109,97 + 3500 = 4609,97 \text{ mm} \quad (8)$$

Výška odpojovače v zapnutém stavu

Rameno 1

$$\cos(5) = \frac{v'_{1z}}{l'_1} \Rightarrow v'_{1z} = \cos(5) * l'_1 = \cos(5) * 600 = 597,72 \text{ mm} \quad (9)$$

Rameno 2

$$\cos(15) = \frac{v'_{2z}}{l_2} \Rightarrow v'_{2z} = \cos(15) * l_2 = \cos(15) * 2200 = 2125,03 \text{ mm} \quad (10)$$

Rameno 3

$$\cos(15) = \frac{v'_{3z}}{l_3} \Rightarrow v'_{3z} = \cos(15) * l_3 = \cos(15) * 2000 = 1931,85 \text{ mm} \quad (11)$$

Celková výška v zapnutém stavu

$$v_{oz} = v_{1z} + v_{2z} + v_{3z} = 597,72 + 2125,03 + 1931,85 = 4654,6 \text{ mm} \quad (12)$$

Výška v zapnutém stavu je vyšší než předběžná výška v zapnutém stavu. Mezikontaktní izolační vzdálenost tedy vyhovuje.

Návrh proudovodné dráhy

Proudovou hustotu volím 2 A/mm²

Proud procházející jedním ramenem

$$I_{nr} = \frac{I_n}{2} = \frac{2000}{2} = 1000 \text{ A} \quad (13)$$

Průřez proudovodné dráhy

$$S_p = \frac{I_{nr}}{\sigma_p} = \frac{1000}{2} = 500 \text{ mm}^2 \quad (14)$$

Jako proudovodnou dráhu volím měděné lano holé, dle ČSN EN 60228 tř. 2 o průřezu 500 mm² a průměru 27,2 mm firmy Prakab Pražská kabelovna, a.s

Návrh kontaktů

I když elektrické kontakty nepředstavují na spínači vvn prostorově největší část zařízení, je jejich význam z nejdůležitějších. Jsou součástmi, které z velké části určují spolehlivost a elektrickou životnost spínače a tím i frekvenci oprav a revizí spínače. Při dlouhodobém periodickém spínání zatížení hluboko pod maximální spínací schopností spínače dochází k mechanickému poškození kontaktů otěrem. Poškození může vést až ke statickému svaření kontaktů. [6]

Spojení přípojnice a kontaktního tělesa bude provedeno pseudopřímkovým stykem s počtem kontaktních míst $N_k = 80$

$I_k = 100 \text{ kA}$

Zkratový proud jedním ramenem

$$I_{kr} = \frac{I_k}{2} = \frac{100 \cdot 10^3}{2} = 50 \text{ kA} \quad (15)$$

Stykový odpor

$$R_{ssv} = \frac{U_{sv}}{N \cdot \frac{I_{kr}}{N_k}} = \frac{370 \cdot 10^{-3}}{2,56 \cdot \frac{50 \cdot 10^3}{80}} = 2,3125 \cdot 10^{-4} \Omega \quad (16)$$

$$R_{sm} = \frac{U_m}{2 \cdot \frac{I_n}{N_k}} = \frac{90 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \frac{2 \cdot 10^3}{80}} = 1,8 \cdot 10^{-3} \Omega \quad (17)$$

Počítáme s menší hodnotou odporu

Přítlačná síla

$$R_{ssv} = k \cdot F_p^{-n} \rightarrow F_p = \left(\frac{R_{ssv}}{k} \right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{2,3125 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 10^{-3}} \right)^{-\frac{1}{0,7}} = 38,9 \text{ N} \quad (18)$$

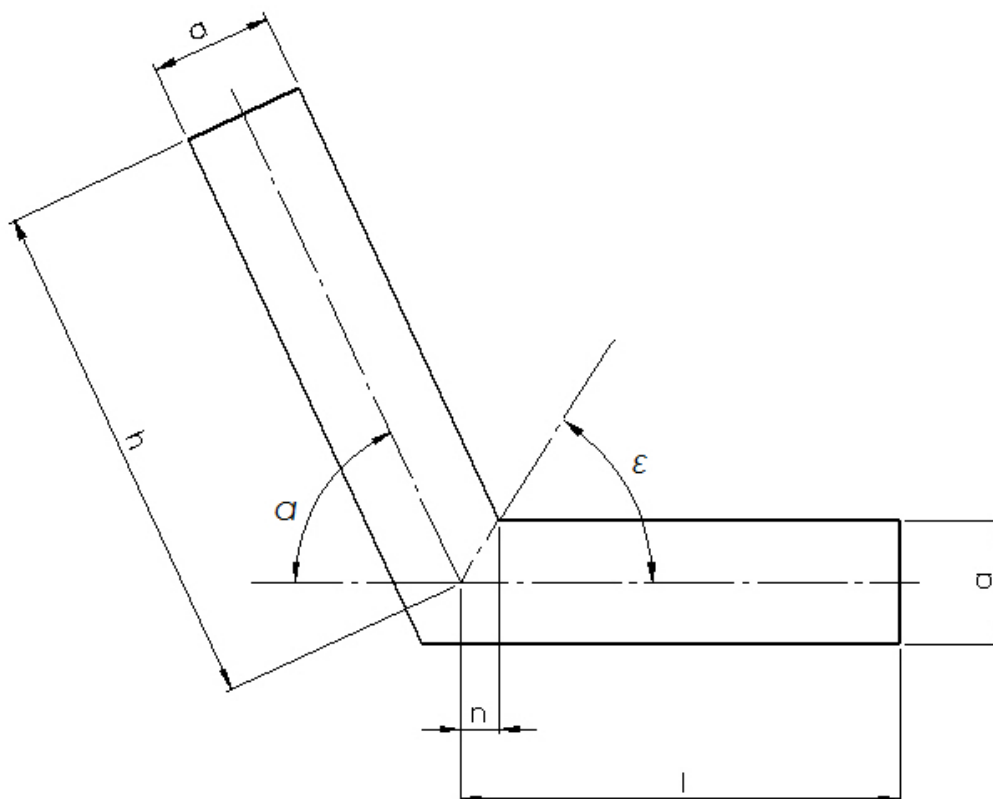
Dynamické účinky proudu

Proudovodné části elektrických přístrojů jsou za provozu namáhány mechanickými silami, které vyvolává proud jimi protékající. Tento jev je jedním ze základních projevů elektrického proudu a využívá se jej s úspěchem v mnoha oborech elektrotechniky. Známa je aplikace v elektromotorech, v přístrojích elektromagnetických a měřící technice.[2]

Mechanické síly mezi zpřaženými vodiči vznikají vždy, i tehdy, když to nežadáme. V takových případech nebývají již užitečné, ale škodlivé, zejména stanou-li se v důsledku velkých proudů značně velkými. Proto je nutné navrhovat rozvodné a spínací zařízení tak, aby se nemohly poškodit vodivé a hlavně izolační části. Tyto síly mohou mít také zhoubný účinek na kontakty, protože mohou zmenšovat kontaktní síly, což má za následek zvětšení stykového odporu, zvýšení teploty kontaktů a jejich svaření. [2]

Proměnné a, b, c, d, p, r, s, t, u používané v této kapitole jsou pomocné hodnoty sloužící ke zpřehlednění výpočtu silových účinků. Nejsou to změřitelné hodnoty.

Průběžný záhyb



Obr. 2. Průběžný záhyb vodiče

Rameno 1-2

$$h = l_1 = 600 \text{ mm} \quad l = l_2 = 2200 \text{ mm}$$

$$\alpha = 180 - 170 = 10^\circ \quad (19)$$

$$\varepsilon = \frac{\pi - \alpha}{2} = \frac{180 - 10}{2} = 85^\circ \quad (20)$$

$$n = m = \frac{a}{2 * tg\varepsilon} = \frac{25}{2 * tg(85)} = 1,09 \text{ mm}^\circ \quad (21)$$

$$\begin{aligned} a &= \sqrt{h^2 + l^2 + 2 * h * l * \cos\alpha} + h * \cos\alpha + l = \\ &= \sqrt{600^2 + 2200^2 + 2 * 600 * 2200 * \cos(10)} + 600 * \cos(10) + 2200 = 5583,71^\circ \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} b &= \sqrt{h^2 + l^2 + 2 * h * l * \cos\alpha} + l * \cos\alpha + h = \\ &= \sqrt{600^2 + 2200^2 + 2 * 600 * 2200 * \cos(10)} + 2200 * \cos(10) + 600 = 5559,41 \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} c &= \sqrt{h^2 + n^2 + 2 * h * n * \cos\alpha} + h * \cos\alpha + n = \\ &= \sqrt{600^2 + 1,09^2 + 2 * 600 * 1,09 * \cos(10)} + 600 * \cos(10) + 1,09 = 1193,05 \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} d &= \sqrt{h^2 + n^2 + 2 * h * n * \cos\alpha} + n * \cos\alpha + h = \\ &= \sqrt{600^2 + 1,09^2 + 2 * 600 * 1,09 * \cos(10)} + 1,09 * \cos(10) + 600 = 1202,15 \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} s &= \sqrt{m^2 + l^2 + 2 * m * l * \cos\alpha} + m * \cos\alpha + l = \\ &= \sqrt{1,09^2 + 2200^2 + 2 * 1,09 * 2200 * \cos(10)} + 1,09 * \cos(10) + 2200 = 4402,15 \end{aligned} \quad (26)$$

Jmenovité zatížení

$$\begin{aligned}
 F_{l21} &= 10^{-7} * \frac{I^2}{\sin \alpha} * \left[\ln \frac{l * d}{n * b} - \cos \alpha * \ln \frac{l * c}{n * a} \right] = \\
 &= 10^{-7} * \frac{1000^2}{\sin 10} * \left[\ln \frac{2200 * 1202,15}{1,09 * 5559,41} - \cos 10 * \ln \frac{2200 * 1193,05}{1,09 * 5583,71} \right] = 0,060 \text{ N}
 \end{aligned} \tag{27}$$

$$\begin{aligned}
 F_{l11} &= 10^{-7} * \frac{I^2}{\sin \alpha} * \left[\ln \frac{h * s}{m * a} - \cos \alpha * \ln \frac{l * c}{n * a} \right] = \\
 &= 10^{-7} * \frac{1000^2}{\sin 10} * \left[\ln \frac{600 * 4402,15}{1,09 * 5583,71} - \cos 10 * \ln \frac{2200 * 1193,05}{1,09 * 5583,71} \right] = 0,057 \text{ N}
 \end{aligned} \tag{28}$$

Zkrat

$$\begin{aligned}
 F_{l21} &= 10^{-7} * \frac{I^2}{\sin \alpha} * \left[\ln \frac{l * d}{n * b} - \cos \alpha * \ln \frac{l * c}{n * a} \right] = \\
 &= 10^{-7} * \frac{50000^2}{\sin 10} * \left[\ln \frac{2200 * 1202,15}{1,09 * 5559,41} - \cos 10 * \ln \frac{2200 * 1193,05}{1,09 * 5583,71} \right] = 149,91 \text{ N}
 \end{aligned} \tag{29}$$

$$\begin{aligned}
 F_{l11} &= 10^{-7} * \frac{I^2}{\sin \alpha} * \left[\ln \frac{h * s}{m * a} - \cos \alpha * \ln \frac{l * c}{n * a} \right] = \\
 &= 10^{-7} * \frac{50000^2}{\sin 10} * \left[\ln \frac{600 * 4402,15}{1,09 * 5583,71} - \cos 10 * \ln \frac{2200 * 1193,05}{1,09 * 5583,71} \right] = 141,76 \text{ N}
 \end{aligned} \tag{30}$$

Rameno 2-3

Při výpočtu jsem použil vzorce 19-30

$$h = l_2 = 2200 \text{ mm} \qquad l = l_3 = 2000 \text{ mm}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\varepsilon = 75^\circ$$

$$n = m = 3,35 \text{ mm}$$

$$a = 7962,47$$

$$b = 7989,27$$

$$c = 4111,51$$

$$d = 4405,80$$

$$s = 4005,80$$

Jmenovité zatížení

$$F_{l32} = 0,167 \text{ N}$$

$$F_{l22} = 0,167 \text{ N}$$

Zkrat

$$F_{l32} = 416,79 \text{ N}$$

$$F_{l22} = 418,54 \text{ N}$$

Rameno 1-1'

Při výpočtu jsem použil vzorce 19-30

$$h = l_1 = 600 \text{ mm} \qquad l = l_1 = 600 \text{ mm}$$

$$\alpha = 170^\circ$$

$$\varepsilon = 5^\circ$$

$$n = m = 142,88 \text{ mm}$$

$$a = 113,7$$

$$b = 113,7$$

$$c = 11,96$$

$$d = 919,25$$

$$s = 919,25$$

Jmenovité zatížení

$$F_{l13} = 1,57 \text{ N}$$

$$F_{l13'} = 1,57 \text{ N}$$

Zkrat

$$F_{l13} = 3916,34 \text{ N}$$

$$F_{l13'} = 3916,34 \text{ N}$$

Rameno 1-2'

Při výpočtu jsem použil vzorce 19-30

$$h = l_1 = 600 \text{ mm} \qquad l = l_2 = 2200 \text{ mm}$$

$$\alpha = 20^\circ$$

$$\varepsilon = 80^\circ$$

$$n = m = 2,20 \text{ mm}$$

$$a = 5535,24$$

$$b = 5438,75$$

$$c = 1168,08$$

$$d = 1204,14$$

$$s = 4404,13$$

Jmenovité zatížení

$$F_{l24'} = 0,108 \text{ N}$$

$$F_{l14} = 0,103 \text{ N}$$

Zkrat

$$F_{l_{24'}} = 270,88 \text{ N}$$

$$F_{l_{14}} = 256,19 \text{ N}$$

Rameno 2-2'

Při výpočtu jsem použil vzorce 19-30

$$h = l_2 = 2200 \text{ mm} \qquad l = l_2 = 2200 \text{ mm}$$

$$\alpha = 150^\circ$$

$$\varepsilon = 15^\circ$$

$$n = m = 46,65 \text{ mm}$$

$$a = 1433,55$$

$$b = 1433,55$$

$$c = 301,12$$

$$d = 4319,33$$

$$s = 4319,33$$

Jmenovité zatížení

$$F_{l25'} = 1,39 \text{ N}$$

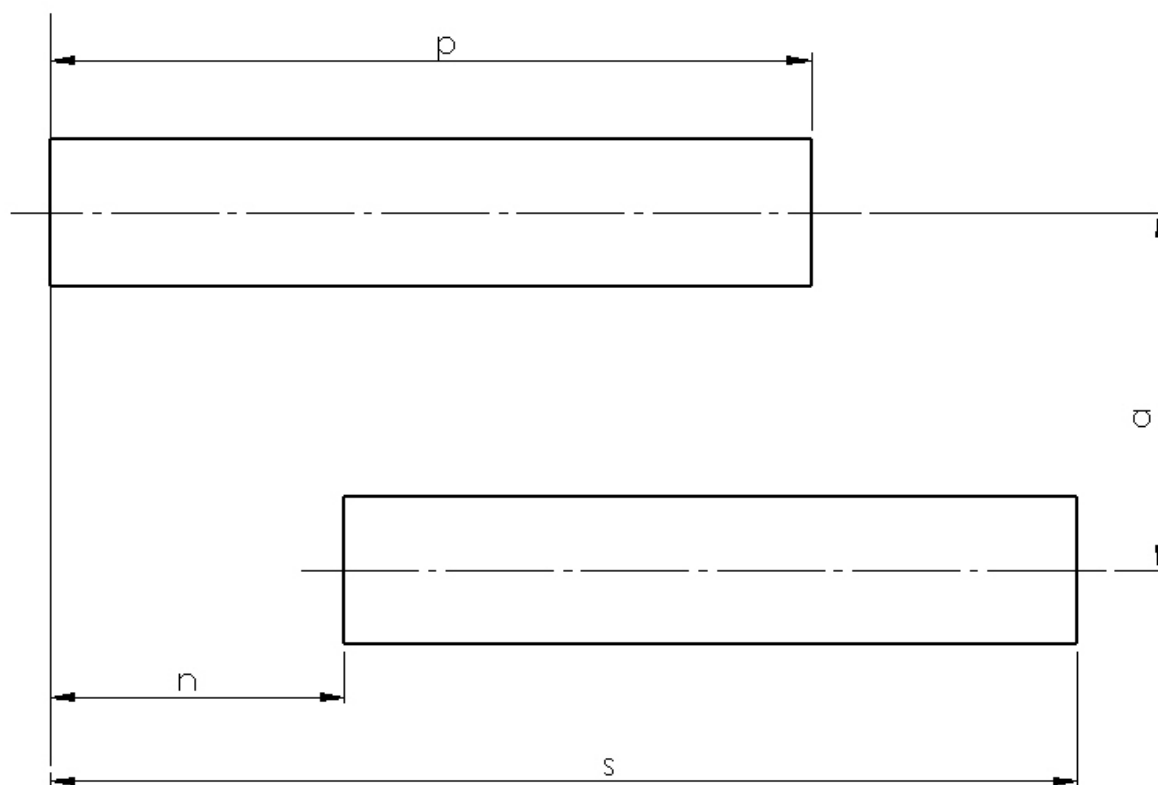
$$F_{l25} = 1,39 \text{ N}$$

Zkrat

$$F_{l25'} = 3471,20 \text{ N}$$

$$F_{l25} = 3471,20 \text{ N}$$

Rovnoběžné vodiče



Obr. 3. Rovnoběžné vodiče

Rameno 3-2'

$$\cos(30) = \frac{n}{2200} \Rightarrow n = \cos 30 * 2200 = 1905,26 \text{ mm} \quad (31)$$

$$\sin(30) = \frac{a}{2200} \Rightarrow a = \sin 30 * 2200 = 1100 \text{ mm} \quad (32)$$

$$s = n + l_3 = 1905,26 + 2000 = 3905,26 \text{ mm} \quad (33)$$

$$p = l_2 = 2200 \text{ mm}$$

Jmenovité zatížení

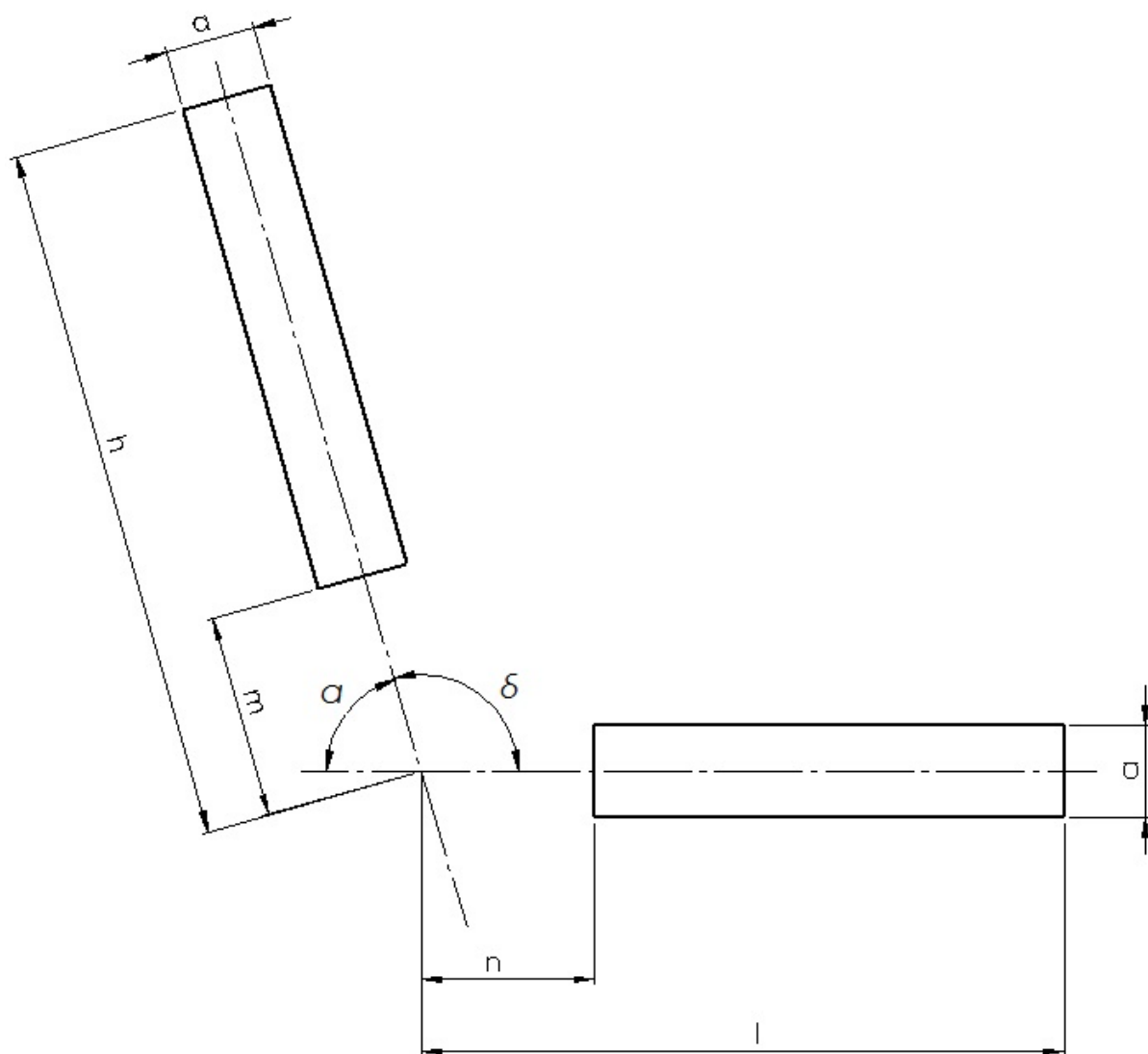
$$\begin{aligned} F_{l3} &= 10^{-7} * \frac{I_1 * I_2}{a} * \left[\sqrt{(p-n)^2 + a^2} - \sqrt{(p-s)^2 + a^2} - \sqrt{(m-n)^2 + a^2} + \sqrt{(m-s)^2 + a^2} \right] = \\ &= 10^{-7} * \frac{1000 * 1000}{1100} * \left[\sqrt{(2200 - 1905,26)^2 + 1100^2} - \sqrt{(2200 - 3905,26)^2 + 1100^2} - \right. \\ &\quad \left. - \sqrt{(0 - 1905,26)^2 + 1100^2} + \sqrt{(0 - 3905,26)^2 + 1100^2} \right] \\ &= 0,088 \text{ N} \end{aligned} \quad (34)$$

Zkrat

$$\begin{aligned} F_{l3} &= 10^{-7} * \frac{I_1 * I_2}{a} * \left[\sqrt{(p-n)^2 + a^2} - \sqrt{(p-s)^2 + a^2} - \sqrt{(m-n)^2 + a^2} + \sqrt{(m-s)^2 + a^2} \right] = \\ &= 10^{-7} * \frac{50000 * 50000}{1100} * \left[\sqrt{(2200 - 1905,26)^2 + 1100^2} - \sqrt{(2200 - 3905,26)^2 + 1100^2} - \right. \\ &\quad \left. - \sqrt{(0 - 1905,26)^2 + 1100^2} + \sqrt{(0 - 3905,26)^2 + 1100^2} \right] \\ &= 219,72 \text{ N} \end{aligned} \quad (35)$$

$$F_{l3} = F_{l2}$$

Vodiče v úhlu



Obr. 4. Vodiče v úhlu

Rameno 3-3'

$$h = l_3 = 2000 \text{ mm}$$

$$l = l_3 = 2000 \text{ mm}$$

$$\alpha = 180 - 30 = 150^\circ \quad (36)$$

$$\cos(75) = \frac{50}{n} \Rightarrow n = \frac{50}{\cos 75} = 193,19 \text{ mm} = m \quad (37)$$

$$\begin{aligned}
a &= \sqrt{h^2 + l^2 + 2 * h * l * \cos\alpha} + h * \cos\alpha + l = \\
&= \sqrt{2000^2 + 2000^2 + 2 * 2000 * 2000 * \cos(150)} + 2000 * \cos(150) + 2000 = 1303,23 \quad (38)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
b &= \sqrt{h^2 + l^2 + 2 * h * l * \cos\alpha} + l * \cos\alpha + h = \\
&= \sqrt{2000^2 + 2000^2 + 2 * 2000 * 2000 * \cos(150)} + 2000 * \cos(150) + 2000 = 1303,23 \quad (39)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
c &= \sqrt{h^2 + n^2 + 2 * h * n * \cos\alpha} + h * \cos\alpha + n = \\
&= \sqrt{2000^2 + 193,19^2 + 2 * 2000 * 193,19 * \cos(150)} + 2000 * \cos(150) + 193,19 = 296,38 \\
&\quad (40)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d &= \sqrt{h^2 + n^2 + 2 * h * n * \cos\alpha} + n * \cos\alpha + h = \\
&= \sqrt{2000^2 + 193,19^2 + 2 * 2000 * 193,19 * \cos(150)} + 193,19 * \cos(150) + 2000 = 3667,93 \\
&\quad (41)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
r &= \sqrt{m^2 + l^2 + 2 * m * l * \cos\alpha} + l * \cos\alpha + m = \\
&= \sqrt{193,19^2 + 2000^2 + 2 * 193,19 * 2000 * \cos(150)} + 2000 * \cos(150) + 193,19 = 296,38 \\
&\quad (42)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
s &= \sqrt{m^2 + l^2 + 2 * m * l * \cos\alpha} + m * \cos\alpha + l = \\
&= \sqrt{193,19^2 + 2000^2 + 2 * 193,19 * 2000 * \cos(150)} + 193,19 * \cos(150) + 2000 = 3667,93 \\
&\quad (43)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t &= \sqrt{m^2 + n^2 + 2 * m * n * \cos\alpha} + m * \cos\alpha + n = \\
&= \sqrt{193,19^2 + 193,19^2 + 2 * 193,19 * 193,19 * \cos(150)} + 193,19 * \cos(150) + 193,19 \\
&= 125,89 \\
&\quad (44)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
u &= \sqrt{m^2 + n^2 + 2 * m * n * \cos \alpha} + n * \cos \alpha + m = \\
&= \sqrt{193,19^2 + 193,19^2 + 2 * 193,19 * 193,19 * \cos(150)} + 193,19 * \cos(150) + 193,19 \\
&= 125,89
\end{aligned}
\tag{45}$$

Jmenovité zatížení

$$\begin{aligned}
F_{l36'} &= 10^{-7} * \frac{I^2}{\sin \alpha} * \left[\ln \frac{d * r}{b * u} - \cos \alpha * \ln \frac{c * s}{a * t} \right] = \\
&= 10^{-7} * \frac{1000^2}{\sin 150} * \left[\ln \frac{3667,93 * 296,38}{1303,23 * 125,89} - \cos 150 * \ln \frac{296,38 * 3667,93}{1303,23 * 125,89} \right] = 0,706 \text{ N}
\end{aligned}
\tag{46}$$

$$\begin{aligned}
F_{l36} &= 10^{-7} * \frac{I^2}{\sin \alpha} * \left[\ln \frac{c * s}{a * t} - \cos \alpha * \ln \frac{d * r}{b * u} \right] = \\
&= 10^{-7} * \frac{1000^2}{\sin 150} * \left[\ln \frac{3667,93 * 296,38}{1303,23 * 125,89} - \cos 150 * \ln \frac{296,38 * 3667,93}{1303,23 * 125,89} \right] = 0,706 \text{ N}
\end{aligned}
\tag{47}$$

Zkrat

$$\begin{aligned}
F_{l36'} &= 10^{-7} * \frac{I^2}{\sin \alpha} * \left[\ln \frac{l * d}{n * b} - \cos \alpha * \ln \frac{l * c}{n * a} \right] = \\
&= 10^{-7} * \frac{50000^2}{\sin 150} * \left[\ln \frac{3667,93 * 296,38}{1303,23 * 125,89} - \cos 150 * \ln \frac{296,38 * 3667,93}{1303,23 * 125,89} \right] = 1764,34 \text{ N}
\end{aligned}
\tag{48}$$

$$\begin{aligned}
F_{l36} &= 10^{-7} * \frac{I^2}{\sin \alpha} * \left[\ln \frac{h * s}{m * a} - \cos \alpha * \ln \frac{l * c}{n * a} \right] = \\
&= 10^{-7} * \frac{50000^2}{\sin 150} * \left[\ln \frac{3667,93 * 296,38}{1303,23 * 125,89} - \cos 150 * \ln \frac{296,38 * 3667,93}{1303,23 * 125,89} \right] = 1764,34 \text{ N}
\end{aligned}
\tag{49}$$

Celková síla působící na ramena

-při jmenovitém zatížení

Rameno 1

$$F_1 = -F_{l11} + F_{l13} + F_{l14} = -0,057 + 1,57 + 0,103 = 1,616 \text{ N} \quad (50)$$

Rameno 2

$$F_2 = F_{l21} - F_{l22} + F_{l24'} + F_{l25} + F_{l3} = 0,060 - 0,167 + 0,108 + 1,39 + 0,088 = 1,479 \text{ N} \quad (51)$$

Rameno 3

$$F_3 = -F_{l32} + F_{l36} + F_{l3} = -0,167 + 0,706 + 0,088 = 0,627 \text{ N} \quad (52)$$

-při zkratu

Rameno 1

$$F_1 = -F_{l11} + F_{l13} + F_{l14} = -141,76 + 3916,34 + 256,19 = 4030,77 \text{ N} \quad (53)$$

Rameno 2

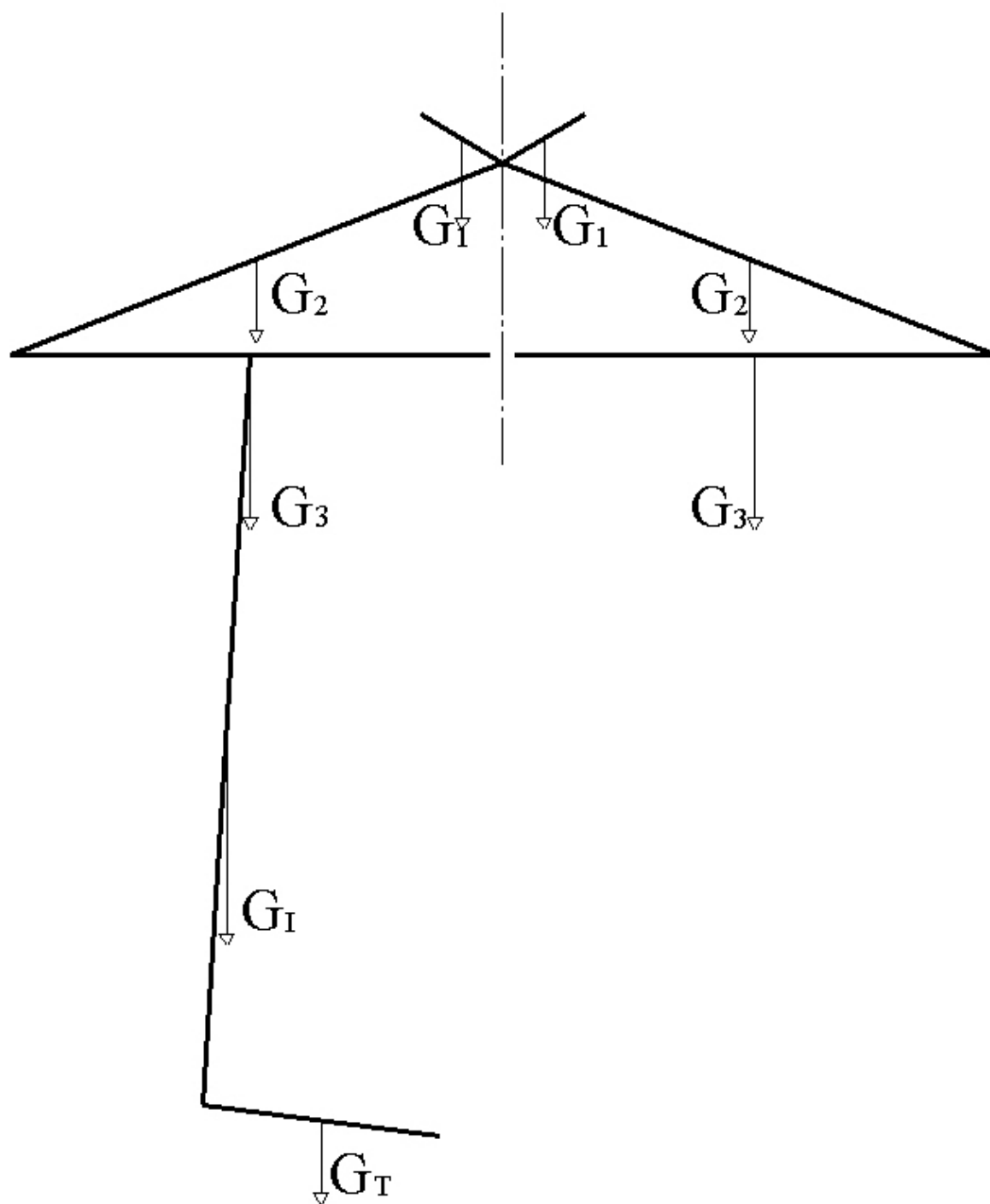
$$\begin{aligned} F_2 &= F_{l21} - F_{l22} + F_{l24'} + F_{l25} + F_{l3} = \\ &= 149,91 - 418,54 + 270,88 + 3471,20 + 219,72 = 3693,17 \text{ N} \end{aligned} \quad (54)$$

Rameno 3

$$F_3 = -F_{l32} + F_{l36} + F_{l3} = -416,79 + 1764,34 + 219,72 = 1567,27 \text{ N} \quad (55)$$

Výsledné působení sil jsem znázornil v příloze [1]. Pro přehlednost jsem vyznačil jen síly v jednom rameni.

Váha a tíhová síla ramen



Obr. 5. Působení tíhových sil

Váha profilů a proudovodné dráhy

U65/B ... 7,09 kg/m

TR48,3x6,3 ... 6,53 kg/m

Měděné lano 500 mm² ... 4,9 kg/m

Celková jednotková váha

$$m = m_1 + m_2 + m_3 = 7,09 + 6,53 + 4,9 = 18,52 \text{ kg/m} \quad (56)$$

Celková váha ramen

$$m_c = m \cdot (l_1 + l_2 + l_3) \cdot 2 = 18,52 \cdot (0,6 + 2,2 + 2) \cdot 2 = 177,8 \text{ kg} \quad (57)$$

Tíhová síla

$$G_1 = m \cdot g \cdot l_1 = 18,52 \cdot 9,81 \cdot 0,6 = 109 \text{ N} \quad (58)$$

$$G_2 = m \cdot g \cdot l_2 = 18,52 \cdot 9,81 \cdot 2,2 = 400 \text{ N} \quad (59)$$

$$G_3 = m \cdot g \cdot l_3 = 18,52 \cdot 9,81 \cdot 2,0 = 363 \text{ N} \quad (60)$$

$$G_T = m \cdot g \cdot l_T = 2,47 \cdot 9,81 \cdot 1,0 = 24 \text{ N} \quad (61)$$

$$G_I = m \cdot g = 14,5 \cdot 9,81 = 142 \text{ N} \quad (62)$$

Návrh ocelové konstrukce odpojovače

Konstrukce odpojovače bude provedena z U profilu, proudovodná dráha bude vedena v ocelové trubce pojené s konstrukcí svarovým spojem.

Použijeme materiál 11373.

Volím profily U65/B a TR 48,3x6,3

Modul pružnosti v ohybu:

U65/B ...17,7 cm³ z tabulek

$$\text{Trubka } W_o = 0,1 \frac{D^4 - d^4}{D}$$

Pevnost v ohybu $\sigma_{od} = 150 \text{ MPa}$

Maximální ohybový moment volím 3kNm

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} \leq \sigma_{od} \quad (63)$$

$$\sigma_o = \frac{3 \cdot 10^6}{17,7 \cdot 10^3 + 0,1 \cdot \frac{48,3^4 - 35,7^4}{48,3}} = 117,17 \leq 150 \quad (64)$$

Navržený nosník vyhovuje.

Maximální možnost zatížení nosníku

$$\sigma_{od} = \frac{M_{omax}}{W_o} \Rightarrow M_{omax} = \sigma_{od} * W_o = \left(17,7 * 10^3 + 0,1 * \frac{48,3^4 - 35,7^4}{48,3} \right) * 150 =$$
$$= 3,8 * 10^6 \text{ Nmm} = 3,8 \text{ kNm} \quad (65)$$

Výpočet oteplení

Přípustnou velikost trvalého oteplení proudovodných drah určuje několik činitelů, především bezpečnost, funkční spolehlivost provozu a životnost zařízení. Teplota vodičů nesmí vyvolat nepřípustné změny ani ve vodiči samotném (jako je změna rozměrů, pevnosti apod.), ani v jeho okolí (v podstatě se jedná o chemické změny izolantů, projevující se změnami jejich fyzikálních parametrů, především mechanických a elektrických. Všechny teplotou vyvolané nevratné změny vlastností látek snižují celkovou životnost přístroje a to tím rychleji, čím je teplota vyšší. Obecně teploty, které již mění výraznějším způsobem izolanty, bývají ještě příliš nízké, aby ohrozily kovové dílce. Je proto látkou určující maximální trvale přípustnou teplotu zařízení izolant. Přirozeně, stýká-li se vodič s izolanty různého druhu, je to z nich izolant nejméně tepelně odolný.[2]

Rozdělení dílců

- 1 – Přípojnice – tepelně dlouhá tyč
- 2 – Kontakt – kontakt
- 3 – Měděné lano (rameno 1-2) – dílec se ztrátami
- 3 chladič – Nosná konstrukce (rameno 1-2) – dílec beze ztrát, tepelně dlouhá tyč
- 4 – Měděné lano – dílec se ztrátami
- 5 – Měděné lano (rameno 3) – dílec se ztrátami
- 5 chladič – Nosná konstrukce (rameno 3) – dílec beze ztrát, tepelně dlouhá tyč
- 6 – Měděné lano – dílec se ztrátami
- 7 – spoj mezi proudovodnou dráhou a přípojnici – tepelně krátká tyč
- 8 – Přípojnice – tepelně dlouhá tyč

Použité vzorce

Dílce beze ztrát, dílce se ztrátami

$$R_{Tl} = \frac{\sin \beta l}{\delta} \quad (66)$$

$$R_{TT} = \frac{1}{\delta \cdot \tanh \frac{\beta l}{2}} \quad (67)$$

Kontakt

$$R_{TS} = \frac{c \cdot k}{\rho \cdot \lambda \cdot F^n} \quad (68)$$

$$Q_S = k \cdot I^2 \cdot F^{-n} \quad (69)$$

Tepelně dlouhá tyč

$$R_{TT} = \frac{1}{\delta} \quad (70)$$

Tepelně krátká tyč

$$R_{Tl} = \frac{\beta l}{\delta} \quad (71)$$

$$R_{TT} = \frac{2}{\delta \cdot \beta l} \quad (72)$$

Další vzorce

$$\beta^2 = \frac{\alpha_0 \cdot O}{\lambda \cdot S} \quad (73)$$

$$\delta^2 = \alpha_0 \cdot O \cdot \lambda \cdot S \quad (74)$$

$$\vartheta_\infty = \frac{q \cdot S}{\alpha_0 \cdot O} \quad (75)$$

$$q = \rho \cdot \sigma^2 \quad (76)$$

Určení E_z a α_0

Určení E_z , z literatury [2]

Díl č.	1	3	3 chladič	4	5	5 chladič	6	7	8
E_z	0,9	0,06	0,3	0,2	0,06	0,3	0,2	0,7	0,9

Tab. 1. Určení emisivity

Určení α_0 , z literatury [2]

Dílec 1: $\alpha_0 = 6,3 + 0,038 \cdot \vartheta_p + 5 + 0,07 \cdot \vartheta_p = 6,3 + 0,038 \cdot 40 + 5 + 0,07 \cdot 40 = 13,36$

Dílec 3: $\alpha_0 = 1,1 + 0,006 \cdot \vartheta_p + 5 + 0,07 \cdot \vartheta_p = 1,1 + 0,006 \cdot 40 + 5 + 0,07 \cdot 40 = 9,14$

Dílec 3': $\alpha_0 = 2,8 + 0,017 \cdot \vartheta_p + 4,3 + 0,055 \cdot \vartheta_p = 2,8 + 0,017 \cdot 40 + 4,3 + 0,055 \cdot 40 = 9,98$

Dílec 4: $\alpha_0 = 1,1 + 0,006 \cdot \vartheta_p + 5 + 0,07 \cdot \vartheta_p = 1,1 + 0,006 \cdot 40 + 5 + 0,07 \cdot 40 = 9,14$

Dílec 5: $\alpha_0 = 1,1 + 0,006 \cdot \vartheta_p + 5 + 0,07 \cdot \vartheta_p = 1,1 + 0,006 \cdot 40 + 5 + 0,07 \cdot 40 = 9,14$

Dílec 5': $\alpha_0 = 2,8 + 0,017 \cdot \vartheta_p + 4,3 + 0,055 \cdot \vartheta_p = 2,8 + 0,017 \cdot 40 + 4,3 + 0,055 \cdot 40 = 9,98$

Dílec 6: $\alpha_0 = 1,1 + 0,006 \cdot \vartheta_p + 5 + 0,07 \cdot \vartheta_p = 1,1 + 0,006 \cdot 40 + 5 + 0,07 \cdot 40 = 9,14$

Dílec 7: $\alpha_0 = 5,6 + 0,034 \cdot \vartheta_p + 5 + 0,07 \cdot \vartheta_p = 5,6 + 0,034 \cdot 40 + 5 + 0,07 \cdot 40 = 14,76$

Dílec 8: $\alpha_0 = 6,3 + 0,038 \cdot \vartheta_p + 5 + 0,07 \cdot \vartheta_p = 6,3 + 0,038 \cdot 40 + 5 + 0,07 \cdot 40 = 13,36$

Tabulky naměřených a vypočtených hodnot

číslo prvku	S [mm ²]	λ [W/m.K]	O [mm]	l [mm]	α_0 [W/m ² .K]	β^2	δ^2
1	666,7	395	314,16	3000	13,36	15,94	1,11
2		418					
3	490,87	395	78,54	2500	9,14	3,70	0,14
3 chladič	1734,27	73	214	2500	9,98	16,87	0,27
4	490,87	395	78,54	200	9,14	3,70	0,14
5	490,87	395	78,54	2000	9,14	3,70	0,14
5 chladič	1734,27	73	214	2000	9,98	16,87	0,27
6	490,87	395	78,54	200	9,14	3,70	0,14
7	500	395	79,26	5	14,76	5,92	0,23
8	666,7	395	314,16	3000	13,36	15,94	1,11

Tab. 2 Parametry prvků tepelné sítě

Číslo prvku	βl	$\sinh \beta l$	$\tanh \beta l/2$	$\vartheta_{\infty}[\text{K}]$	R_{TT}	R_{TI}
1	11,98	79500,99	1,00	0,00	0,95	
2						
3	4,81	61,38	0,98	24,63	2,72	164,53
3 chladič	10,27	14400,34	1,00	0,00	1,92	
4	0,38	0,39	0,19	24,63	14,10	1,06
5	3,85	23,45	0,96	24,63	2,80	62,84
5 chladič	8,21	1847,11	1,00	0,00	1,92	
6	0,38	0,39	0,19	24,63	14,10	1,06
7	0,01	0,01	0,01	15,40	140,49	0,06
8	11,98	79500,99	1,00	0,00	0,95	

Tab. 2 Parametry prvků tepelné sítě - pokračování

Vypočtené hodnoty pro kontakt (číslo prvku 2)

$$R_{Ts} = 0,033$$

$$Q_s = 0,037$$

Nákres tepelné sítě je součástí práce jako příloha č. 1

Oteplení prvků

ϑ	
2	0,29
3	16,55
4	5,46
5	13,26
6	1,91
7	0,01

Tab. 3. Oteplení částí proudovodné dráhy

Kinematika odpojovače

Rozbor kinematiky obsahuje následující úlohy:

- konstrukce kinematického schématu mechanismu

- vyznačení polohy částí mechanismu a trajektorii zakreslenou v čase pohybu mechanismu mezi jeho jednotlivými body.

- určení rychlosti a zrychlení bodů částí mechanismu.

Kinematické vlastnosti, popisující pohyb mechanismu řešíme nejčastěji metodami grafickými nebo graficko-analytickými. Analytické metody se dají použít pouze u nejjednodušších podob mechanismů. Analytických metod, často i poměrně složitých využíváme při provádění kinematické analýzy pro určování podrobností, které není možné vyznačit v grafických metodách. Základní způsoby graficko-analytického určování při zkoumání kinematiky mechanismů elektrických odpojovačů jsou:

- nákresy pohybu

- výkresy poloh

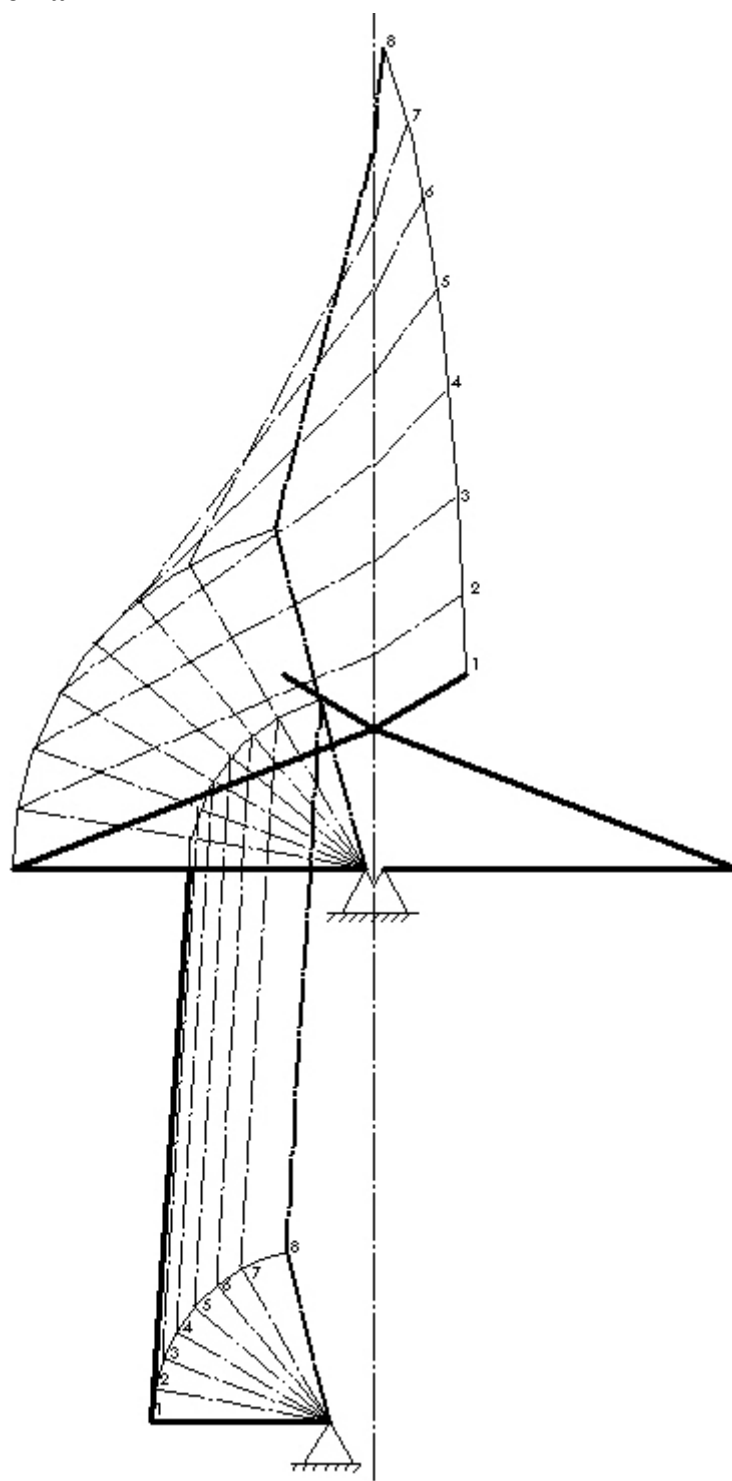
- výkresy rychlosti a zrychlení

Převzato a přeloženo z lit. [5]

V grafech rychlosti a zrychlení vycházím z faktu, že doba přesunu táhle z bodu 1 do bodu 2 je stejná jako doba přesunu koncového bodu odpojovače z bodu 1 do bodu 2. Můžu tedy jednoduše vypočítat rychlosti a zrychlení v jednotlivých bodech dráhy kontaktu.

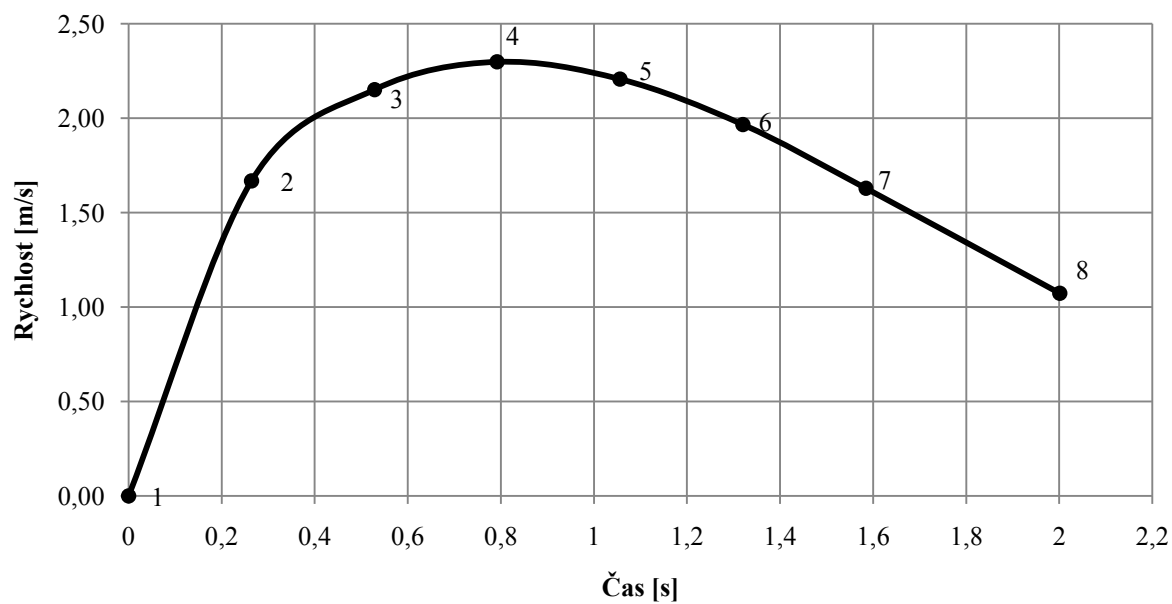
Z kinematického schématu můžeme vidět, že dráha kontaktu je téměř svislá, můžu tedy usuzovat, že dráha kontaktu je téměř totožná se zkracováním izolační vzdálenosti mezi kontakty.

Kinematické schéma

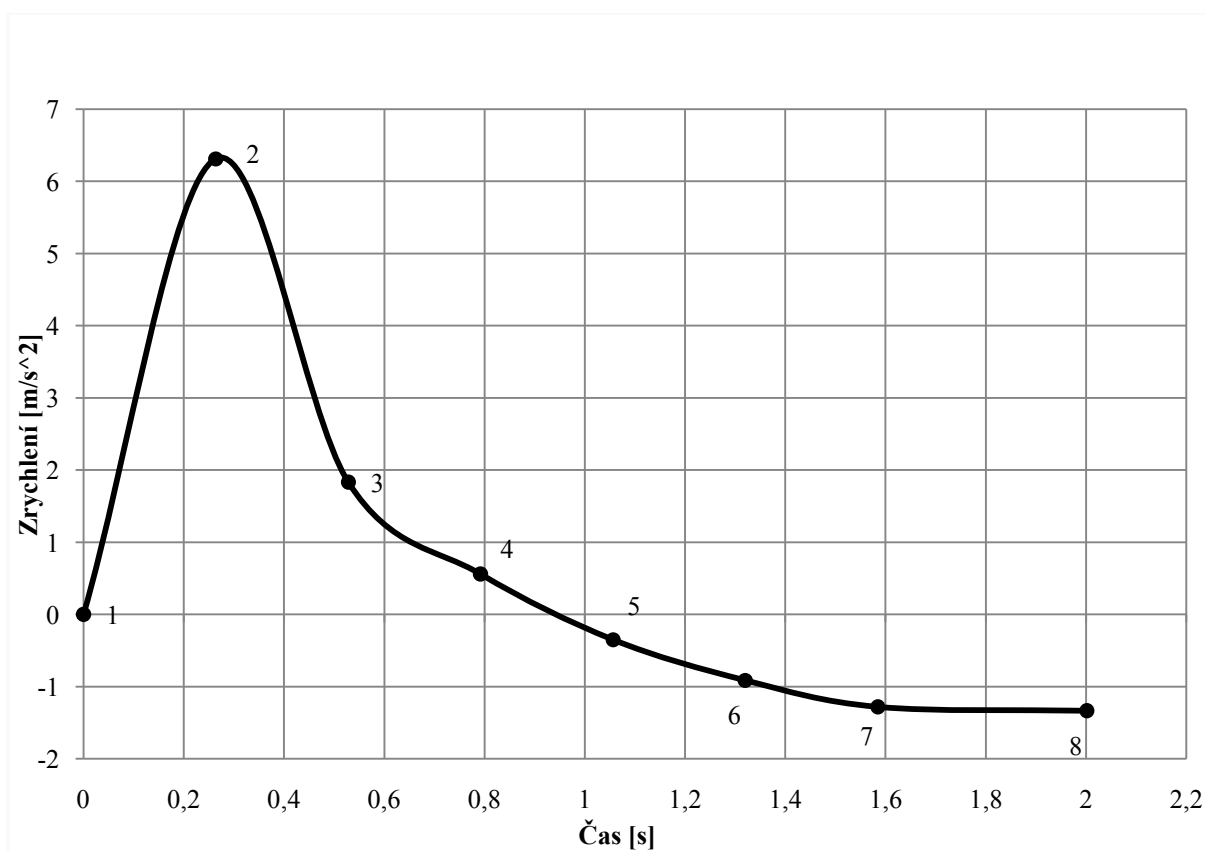


Obr. 6. Kinematické schéma mechanismu odpojovače

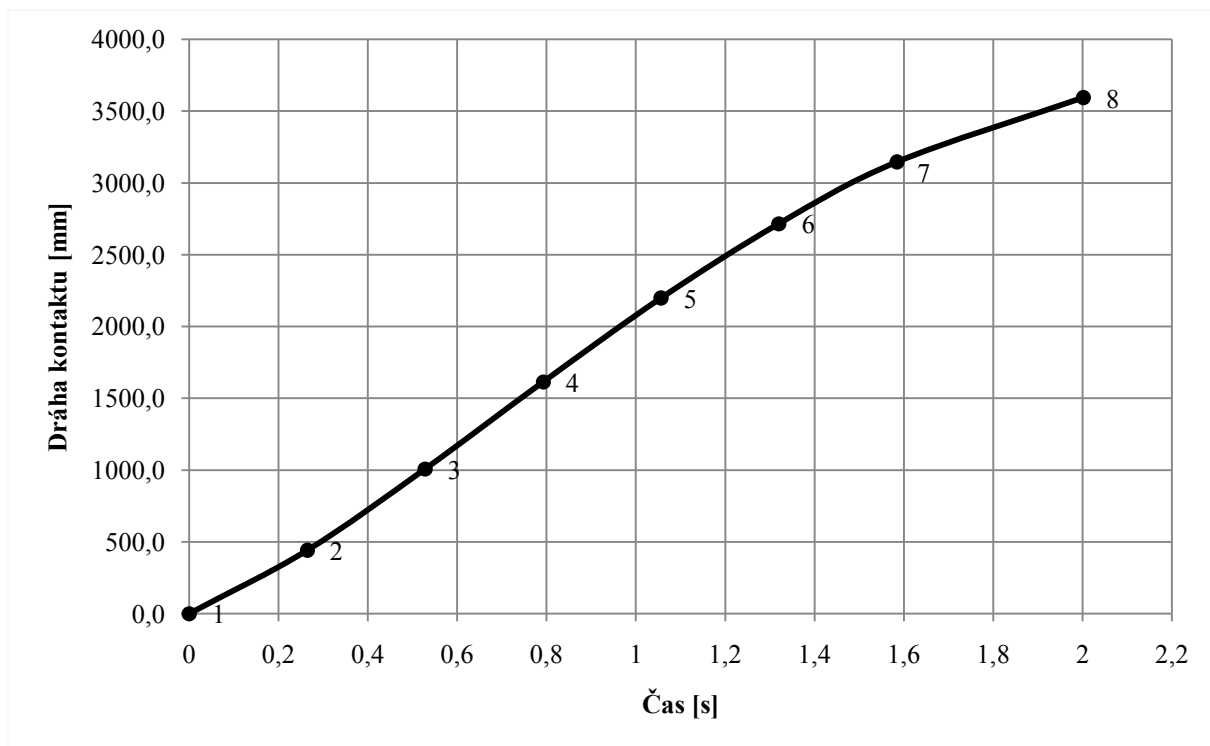
Grafy



Graf 1. Rychlost kontaktu



Graf 2. Zrychlení kontaktu



Graf 3. Dráha kontaktu

Závěr

V této diplomové práci jsem navrhoval a částečně analyzoval konstrukci odpojovače velmi vysokého napětí.

Provedením pantografu s pevnou konstrukcí ramen jsem zajistil vysokou mechanickou pevnost odpojovače, stejně jako ochranu velké části proudovodné dráhy před vnějšími vlivy. Pevnostní výpočty jsou jenom lehkým nástinem této problematiky a spíše než výsledky jsou to podklady k dalšímu zpracování této části projektu. Mechanismus odpojovače je poměrně netradiční, obvyklejší bývá současný pohon obou ramen pákou vedenou v ose odpojovače, moje řešení je pohon jednoho ramene a přenášení pohybu pomocí ozubených kol s převodem 1:1.

Zmíněná mechanická pevnost je potřeba pro případ zkratu, kdy by byly síly mezi vodiči v řádech kN a pouhé měděné tyče by toto namáhání nemusely vydržet.

Z teplotní analýzy je patrné, že odpojovač je silně naddimenzovaný. Zvláště patrné je to u oteplení kontaktů, které jsou dimenzované na přenos zkratového proudu který je 50x větší než proud jmenovitý.

Kinematika odpojovače nám říká po jaké dráze a jakou rychlostí se jednotlivé části mechanismu pohybují a v případě že by nevyhovovaly rychlosti kontaktu, můžeme vypočítat, jak je třeba upravit rychlost pohonu, abychom dosáhli žádaných parametrů.

Při návrhu kontaktů jsem řešil jen základní parametry nutné pro další výpočet, nezabýval jsem se detailním návrhem kontaktního tělesa ani mechanismu zámku popř. zjišťováním mrtvého bodu mechanismu.

Vzhledem k nízkým potřebným otáčkám může mít motor pro dosažení potřebného momentu nízký výkon (řádově jednotky kW).

Literatura

- [1] BÁRTA – VOSTRACKÝ a kol. *Spínací přístroje velmi vysokého napětí* 1.vyd. ,SNTL Praha 1, 1983, 448 s.
- [2] HAVELKA O. *Stavba elektrických přístrojů I* 1. vyd., VUT Brno, 1984, 262 s.
- [3] KLIER J. *Konstrukce elektrických přístrojů* 1. vyd., VŠSE, Plzeň 1966, 212 s.
- [4] LEINVEBER J., ŘASA J., VÁVRA P. *Strojnické tabulky* 3. doplněné vydání, Scientia, Praha 1999, 985 s. ISBN 80-7183-164-6
- [5] MAKSYMIOUK J. *Mechaniczna teoria łączników elektrycznych* 1.vydání, WNT Warszawa, 1967, 224 s.
- [6] NOVOTNÝ V., VÁVRA Z. *Spínací přístroje a rozváděče na vysoké napětí* 1.vyd., SNTL/Alfa, 1986, 272 s.

Firemní literatura (katalogy)

Holé vodiče – CU lana

<http://www.prakab.cz/fileadmin/content/prakab/Vyrobky/Hole_vodice/Cu_lana.pdf>

Cit. 29.4.2010

Izolátor podstavný

<<http://www.bohemiaprolan.cz/userfiles/image/a47-C10-1550-%2810500%29.jpg>>

Použito 15.3.2010

Izolátor plastový

<<http://www.bohemiaprolan.cz/userfiles/image/a42-400kV-MLV-4316.jpg>>

Použito 28.3.2010

Seznam příloh

[1] Výsledné působení sil (dynamické účinky proudu)

[2] Tepelná síť

[3] Sestava odpojovače

[4] Kusovník k výkresu sestavy